

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульєв Л.М., Мельниковская Л.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ УЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ТЕПЛООБМЕНА НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКА

Введение. Проблема обеспечения украинской экономики энергоносителями – одна из самых актуальных в наше время. Газ, нефть, уголь и даже электроэнергию приходится импортировать. Ежегодно на это затрачивается около 8 млрд. дол., на что идет 2/3 всего товарного экспорта.

Научно-технический прогресс, улучшение качества продукции, улучшение условий труда, интенсификация всего общественного производства определяются развитием энергетики страны, основой которой является топливная база и предприятия по переработке топлива [1]. Увеличение объемов производства, которое ожидается на протяжении ближайших десяти лет, обуславливает возрастание спроса на энергию и электроэнергию. Несмотря на то, что установленная мощность переработки предприятий Украины является высокой, реальная рабочая мощность снижается. Возникает потребность в реабилитации существующих установок и оборудования. Это относится ко всем отраслям экономики государства, в том числе, и к нефтеперерабатывающей промышленности.

Установки атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ) являются основой всех нефтеперерабатывающих заводов, т.к. вся сырая нефть проходит через эти установки [2]. Поэтому особое внимание следует уделить повышению эффективности работы существующих АВТ, уменьшению удельных затрат на переработку нефти и снижению количества тепловых потерь на оборудовании установки [3, 4].

В предыдущих работах была проведена экстракция данных [5], моделирование процесса в программе HYSYS (Unisim Design), определен энергосберегающий потенциал установки, предложен проект схемы реконструкции [6], работоспособность которого подтверждена моделированием в программе HYSYS (Unisim Design), а также проведен расчет тепловых потерь на теплообменном оборудовании установки [7].

Учет потока тепловых потерь при построении составных кривых процесса. Расчет тепловых потерь на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока показал, что установка работает не в оптимальном режиме. Сравнение количества тепловых потерь, рассчитанного по горячим и холодным утилитам, и потерь непосредственно на теплообменном оборудовании и трубах, дает величину около 4 МВт, что составляет примерно половину всех тепловых потерь на установке.

В программном пакете Unisim Design целесообразно проводить моделирование установки первичной переработки нефти [8-10]. Благодаря уточнению данных для рассматриваемой установки была составлена таблица потоковых данных, которая является цифровым образом процесса. Она содержит все необходимые технологические данные о потоках, требуемые для интеграции процесса. Чтобы учет количества тепловых потерь на теплообменном оборудовании установки был произведен правильно при построении составных кривых, эти тепловые потери представлены в виде технологического потока и занесены в таблицу потоковых данных (табл. 1). Начальной температурой данного потока принимается температура окружающего воздуха, целевой температурой – температура нагретой поверхности теплообменных аппаратов.

Схема установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока представлена на рис. 1.

Используя технологические данные из таблицы 1, где тепловые потери в сети теплообмена представлены в виде материального потока, строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые с учетом потока тепловых потерь.

Составные кривые процесса представляют собой суммарное изменение расходного теплосодержания всех холодных и горячих технологических потоков, циркулирующих на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока (рис. 2).

Сравнение построенной энтальпийно-температурной диаграммы с представленной в предыдущих работах диаграммой составных кривых (рис. 3) показывает, что при учете потока тепловых потерь в системе теплообмена, количество горячих утилит составляет 45,48 МВт, а количество холодных утилит – 27,47 МВт. При этом мощность рекуперации тепловой энергии составляет приблизительно 35 МВт.

Таким образом, учет потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании в качестве материального потока позволяет получить более точное понимание взаимодействия с процессом горячих и холодных утилит, необходимых для осуществления процесса первичной переработки нефти.

Таблица 1 – Потокные данные технологических потоков, включенных в интеграцию для режима работы АВТ А12/2 без вакуумного блока в зимнее время, с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании

№	Название потока	Тип	t_s , °C	t_r , °C	G , т/ч	C , кДж/(кг·K)	r , кДж/кг	CP , кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/(м ² ·K)
1	Переток К-1, 1а в К-3	гор	173	54	8,20	2,11		4,81	571,93	0,4
2,1	Охлаждение паров бензина К-1, 1а	гор	145	50	29,69	2,52		20,78	1974,36	0,1
2,2	Охлаждение газа из К-1, 1а	гор	145	40	2,78	2,52		1,95	204,33	0,1
2,3	Конденсация паров бензина К-1, 1а	гор	50	50	29,69		75		618,53	1
2,4	Охлаждение бензина К-1, 1а	гор	50	40	29,69	2,11		17,40	174,01	0,4
3,1	Охлаждение паров бензина К-3	гор	157	46	17,40	2,52		12,18	1351,98	0,1
3,2	Конденсация паров бензина К-3	гор	46	46	17,40		75		362,50	1
3,3	Охлаждение водяных паров К-3	гор	157	100	1,05	2,00		0,58	32,96	0,12
3,4	Конденсация водяных паров К-3	гор	100	100	1,05		2256		658,00	2
3,5	Охлаждение воды К-3	гор	100	46	1,05	4,19		1,22	65,99	0,8
4	Дизельное топливо	гор	229	200	71,11	2,70		68,29	1980,27	0,2
		гор	200	100	71,11	2,42		58,81	5880,67	0,2
		гор	100	58	71,11	2,10		51,76	2174,05	0,2
5	Циркуляционное орошение К-3	гор	165	74	75,79	2,11		55,87	5083,79	0,15
6	Циркуляционное орошение К-2,2а	гор	295	144	30,73	2,11		29,85	4507,90	0,15
7	Мазут	гор	360	300	133,08	2,90		150,01	9000,85	0,15
		гор	300	250	133,1	2,71		135,78	6789,08	0,15
		гор	250	200	133,1	2,54		122,99	6149,54	0,15
		гор	200	150	133,1	2,36		109,87	5493,37	0,15
		гор	150	90	133,1	2,17		95,69	5741,42	0,15
8	Солевой р-р с ЭЛОУ	гор	115	40	15,05	4,21		17,14	1285,61	0,8
9	Сырая нефть	хол	10	50	250,85	1,95		142,55	5701,96	0,1
		хол	50	118	250,85	2,10		170,22	11574,78	0,1
10	Обессоленная нефть	хол	112	150	248,34	2,28		192,17	7302,34	0,15
		хол	150	200	248,34	2,47		214,40	10720,07	0,15
		хол	200	214	248,34	2,65		231,36	3239,06	0,15
11	Отбензиненная нефть в АЗАЧП П-1	хол	214	250	56,00	2,75		54,87	1975,49	0,15
		хол	250	300	56,00	2,84		59,75	2987,44	
		хол	300	371	56,00	3,18		66,73	4737,86	
	Отбензиненная нефть в АЗВЧП П-1	хол	214	250	26,00	2,75		25,48	917,19	0,15
		хол	250	300	26,00	2,84		27,74	1387,03	
		хол	300	310	26,00	2,97		29,42	294,16	
12	Отбензиненная нефть в ЛЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
	Отбензиненная нефть в ПЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
13	Мазут через ВЗВЧП П-1	хол	360	407	53,29	2,90		65,68	3086,84	0,15
14	Вода на ЭЛОУ	хол	10	80	12,54	4,20		14,60	1021,87	0,8
15	Перегрев пара в П-1	хол	135	450	1,05	2,69		2,60	819,88	0,6
16	Газ к печам	хол	31	80	3,00	2,52		2,10	102,90	0,1
17	Мазут в печи	хол	49	80	3,79	2,05		2,32	71,80	0,1
18	Тепловые потери	хол	-7	125				31,06	4099,52	

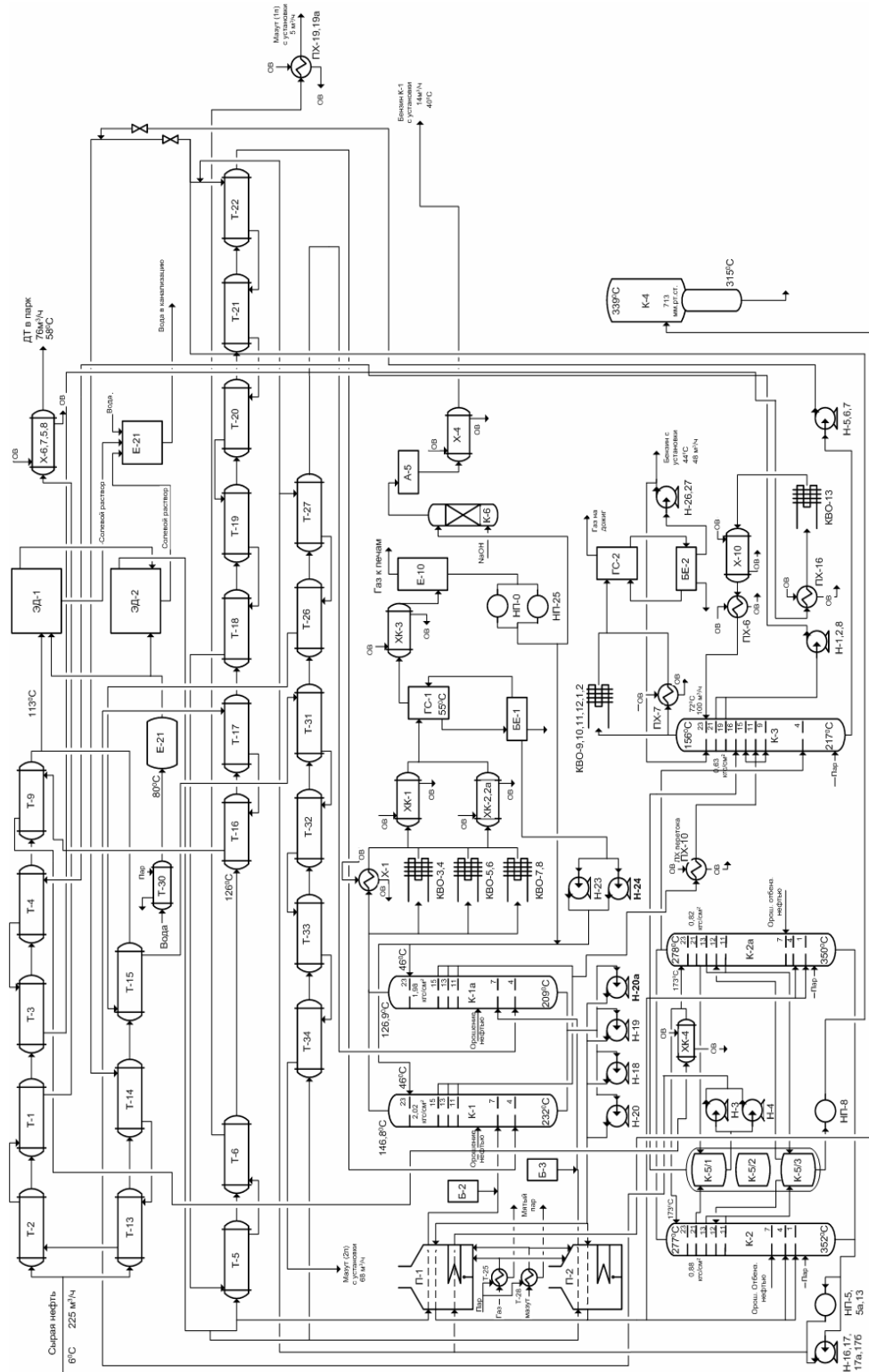


Рисунок 1 – Существующая схема установки переработки нефти АВТ А12/2 без вакуумного блока. БУ, БЕ, Е – емкости; БК – барометрический конденсатор; К1, К1а – атмосферные ректификационные колонны; К2, К2а – ректификационные колонны разгона отбензиненной нефти; К3 – ректификационная колонна для получения дизельного топлива; К4 – вакуумная колонна; К5 – отпарная колонна; КВО – конденсатор воздушного охлаждения; Н, НП – насосы; П – трубчатая печь; Т – теплообменные аппараты; Х, ПХ – холодильники; ХК – конденсаторы; ЭД – электродегидратор; ОВ – охлаждающая вода

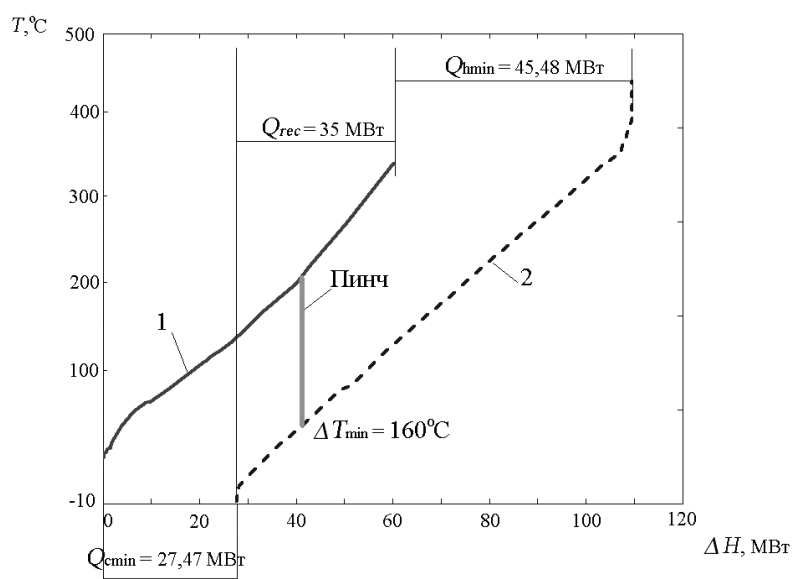


Рисунок 2 – Составные кривые существующего процесса с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации энергии; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

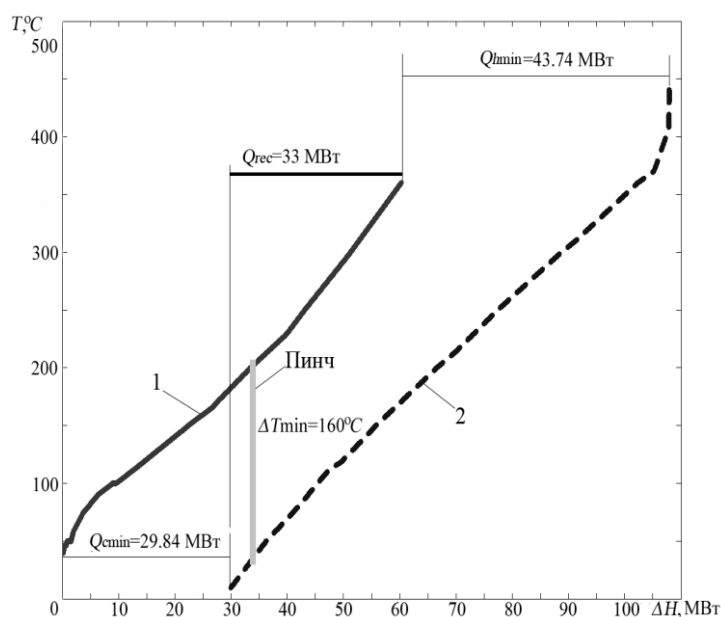


Рисунок 3 – Составные кривые существующего процесса без учета потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации энергии; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Разница между значениями горячих и холодных утилит при построении составных кривых без учета потока тепловых потерь и с учетом этого потока составляет 1,74 МВт и 2,37 МВт соответственно.

Учет потока тепловых потерь при построении большой составной кривой процесса. Для наиболее точного определения взаимодействия утилит с процессом, необходимо построить большую состав-

ную кривую. Она позволяет определить энергетические требования потока на любой температуре из температурного интервала, в котором находятся технологические потоки, участвующие в процессе [11]. Кроме того, для определения точного значения полезной нагрузки трубчатых печей установки необходимо построить на диаграмме большой составной кривой профиль отходящих дымовых газов трубчатых печей. В данном случае профиль отходящих газов целесообразно построить в качестве составной кривой.

Для построения профиля отходящих газов используются технологические данные, измеренные и рассчитанные для потоков дымовых газов с обеих печей (П-1, П-2) установки (табл. 2).

Таблица 2 – Технологические данные для построения составной кривой отходящих дымовых газов

Трубчатые печи	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
П-1	1278	-7	30.82	39617.55
П-2	1296	-7	30.82	40171.5

Моделирование в программном пакете Unisim Design позволило получить точные значения начальных температур потоков дымовых газов, целевая температура принимается равной температуре окружающей среды. Для дальнейших расчетов необходимо значение потоковой теплоемкости [12].

Потоковая теплоемкость (CP) рассчитана по формуле:

$$CP = c \cdot W$$

где c – удельная теплоемкость отходящих газов, согласно табличным данным для данных условий составляет $1,675 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$; W – массовый расход отходящих газов, согласно измеренным значениям составляет $18,4 \text{ кг/с}$.

Использование данных из табл. 2 позволило построить профили отходящих дымовых газов трубчатых печей П-1 и П-2 установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока (рис. 4).

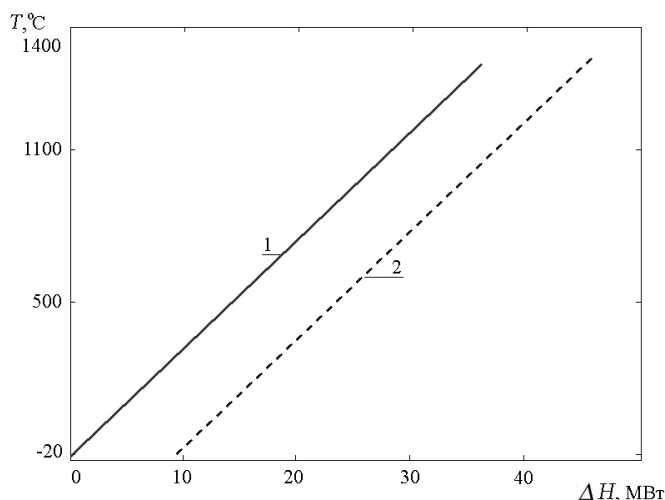


Рисунок 4 – Профили отходящих дымовых газов: 1 – профиль отходящих газов печи

П-1; 2 – профиль отходящих газов печи П-2; T – температура;
 ΔH – изменение энтальпии потоков

На рис. 5 представлена составная кривая отходящих газов с установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока.

Проекция профиля отходящих газов на ось абсцисс показывает мощность, выделяемую при сжигании топлива в трубчатых печах установки. В данном случае она составляет $79,77 \text{ МВт}$ тепловой энергии.

Построение профиля отходящих дымовых газов с установки позволяет использовать его в диаграмме большой составной кривой для определения точного значения полезной нагрузки трубчатых печей установки.

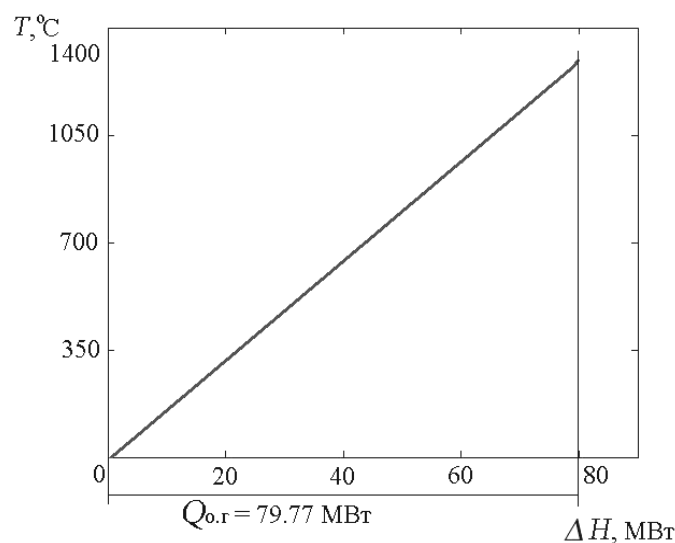


Рисунок 5 – Составная кривая отходящих газов установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока: $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

На рис. 6 представлена большая составная кривая существующего процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока и профиль отходящих газов печей данной установки без учета потока тепловых потерь в системе теплообмена.

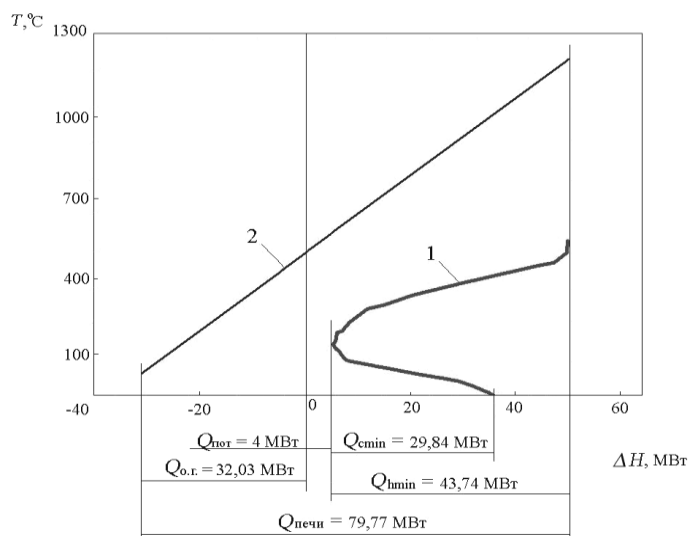


Рисунок 6 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей без учета потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит;

$Q_{сmin}$ – минимальное количество холодных утилит; $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; $Q_{пот}$ – количество тепловых потерь на установке; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Тепловые потери на теплообменном оборудовании установки составляют 4 МВт, поэтому большая составная кривая сдвинута вправо по оси абсцисс на эту величину.

Точка, где тепловой поток соответствует нулю, показывает локализацию пинча. Точка пересечения температурного профиля отходящих газов и оси ординат показывает температуру, с которой отходящие газы отводятся с установки – 450 °С. Мощность горячих утилит показывает полезную нагрузку печи, а холодных утилит – мощность, которая отводится от процесса. Проекция профиля отходящих газов на ось абсцисс определяет мощность, выделяемую при сжигании топлива в трубчатых печах установки.

В данном процессе, как видно из рисунка, в печах выделяется 79,77 МВт тепловой мощности, полезная нагрузка печей составляет 43,74 МВт, а тепловая мощность отходящих газов – 32,03 МВт.

Большая составная кривая с учетом потока тепловых потерь в системе теплообмена установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока и профиль отходящих газов представлены на рис. 7.

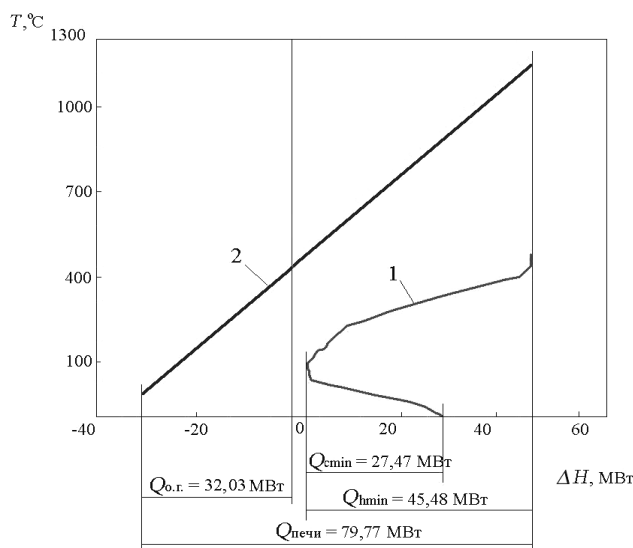


Рисунок 7 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Как видно, полезная нагрузка печей при таком подходе, определяется величиной 45,48 МВт, а тепловая мощность отходящих дымовых газов – 32,03 МВт.

Следует заметить, что поток тепловых потерь не существует в качестве материального потока. Его учет в построении диаграммы большой составной кривой процесса является средством для точного определения нагрузки трубчатых печей установки. Заметим, учет тепловых потерь при нагреве окружающего воздуха с его реальной начальной температурой замещает часть холодных утилит. Это происходит потому, что часть этого потока располагается ниже температуры пинча холодных потоков. Исходя из того, что полезная нагрузка печей соответствует нагрузке горячих утилит процесса, увеличение которых происходит за счет потерь тепловой энергии в окружающую среду, целесообразно производить учет потока тепловых потерь выше пинча, например, в интервале с самой высокой целевой температурой.

Учет тепловых потерь на теплообменном оборудовании в качестве материального потока в интервале с самой высокой целевой температурой позволяет не сдвигать большую составную кривую по оси ординат на 4 МВт тепловой мощности, как в случае без учета данного потока, как показано на рис. 8.

Таким образом, учет потока тепловых потерь на установке до системы разделения при построении большой составной кривой процесса позволяет определить более точное значение полезной нагрузки трубчатых печей – 47,74 МВт тепловой энергии.

Разница между значениями данной нагрузки при построении большой составной без учета потока тепловых потерь и с учетом этого потока составляет 4,1 МВт.

Выводы. Учет потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании при построении большой составной кривой процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока позволяет получить более точные значения относительно полезной нагрузки печей, мощности отходящих газов, а также позволяет сделать наиболее точное определение взаимодействия утилит с процессом.

Обозначения. G – массовый расход, кг/с; H – потоковое теплосодержание, Вт; t_s – температура снабжения; °С; t_T – целевая температура, °С; r – теплота фазового перехода, Дж/кг; ΔT_{\min} – минимальная разность температур; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков; ЭЛОУ – электрообессоливающая установка; АЗАЧП – атмосферный змеевик атмосферной части печи; АЗВЧП – атмосферный змеевик вакуумной части печи; ВЗВЧП – вакуумный змеевик вакуумной части печи; ЦО – циркуляционное орошение; ДТ – дизельное топливо; ГС – газосепаратор; ЛЗ – левый змеевик; ПЗ – правый змеевик.

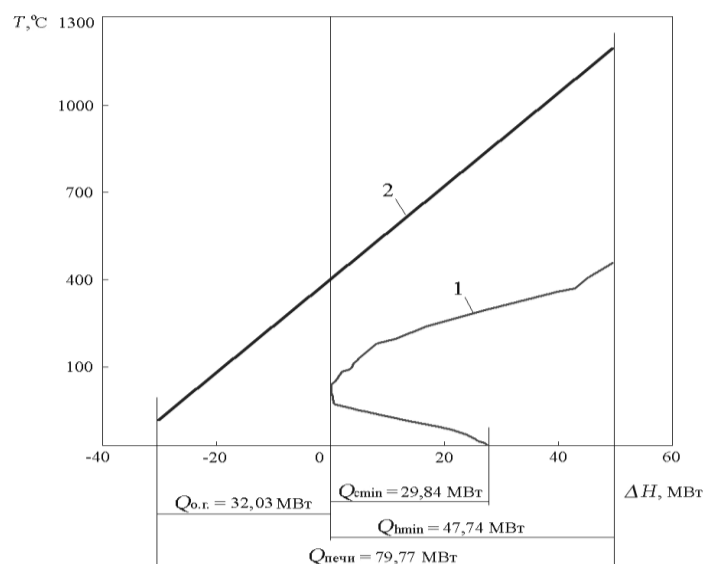


Рисунок 8 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании в интервале с самой высокой целевой температурой: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; $Q_{ог}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Литература

1. Бурлак Г.Г. Нефтеперерабатывающая отрасль экономики: состояние и перспективы / Г.Г. Бурлак // Экономика Украины. – 2000. – №7. – С. 19–24.
2. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти / И.Т. Багиров. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
3. Степанов А.В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / Степанов А.В., Сульжик Н.И., Горюнов В.С. – К.: Техника, 1989. – 170 с.
4. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Клименко В.Л., Костерин Ю.В. – Л.: Химия, 1985. – 256 с.
5. Товажнянский Л.Л. Экстракция данных для теплоэнергетического интегрирования процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – №1. – С. 53–64.
6. Товажнянский Л.Л. Проектирование схемы реконструкции установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – №3. – С. 64–73.
7. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XIX науково-практичної конференції, 1–3 черв. 2011 р., Харків. Ч. 3 / за ред. Л.Л. Товажнянського. – Х.: НТУ «ХП», 2011. – С. 29.

8. Plesu V. Retrofit solutions in crude distillation plant using process simulation and process integration / Plesu V., Bumbac G., Tacu-Marcov C., Ivanescu I., Popescu D.C. // Chemical engineering transactions. – 2005. – Vol. 7. – P. 169–174.
9. Plesu V. HEN retrofit for a crude distillation unit-part 1 / Plesu V., Bumbac G., Nan O. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 95–98.
10. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 489–492.
11. Основы интеграции тепловых процессов / [Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский та ін.]. – Х.: НТУ «ХПІ», 2000. – 458 с.
12. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 336 с.

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульєв Л.М., Мельниковська Л.О.

**ВИЗНАЧЕННЯ КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ПІЧОК ЗА ДОПОМОГОЮ
ВРАХУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В СИСТЕМІ ТЕПЛООБМІНУ НА УСТАНОВЦІ АВТ А12/2
В РЕЖИМІ РОБОТИ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКУ**

Для визначення точних значень щодо корисного навантаження пічок та взаємодії утиліт з процесом виконується врахування потоку теплових втрат на теплообмінному обладнанні і трубах. Даний потік включений у потокову таблицю і використовується при побудові великої складової кривої процесу первинної переробки нафти на установці АВТ А12/2 в режимі роботи без вакуумного блоку.

Ulyev L.M., Melnikovska L.O.

**DEFINITION OF PAYLOAD OF TUBULAR OVENS WITH ACCOUNT OF HEAT LOSS
IN THE HEAT EXCHANGERS NETWORK OF AVDU A12/2 IN THE MODE OF OPERATION
WITHOUT A VACUUM BLOCK**

To determine the exact values of the payload of ovens and interaction utilities with a process it is necessary to take into account the flow of heat losses in the heat exchange equipment and pipes. This flow is included in the stream data table and used in the construction of large composite curve of the process of primary oil refining in the AVDU A12/2 in the mode of operation without a vacuum unit.